

4



Derwent Data  
Available on Delphion

[ABOUT DELPHION](#)

[PRODUCTS](#)

[NEWS & EVENTS](#)

[MY ACCOUNT](#)

[JP 5](#)

[Log Out](#) [Order Form](#) [View Cart](#)

The Delphion  
Integrated  
View

Other Views:

[INPADOC](#) | [Derwent...](#)

Title:

**JP11206075A2: MANUFACTURE OF RARE-EARTH RESIN  
MAGNET EMBEDDED ROTOR**

Country:

JP Japan

Kind:

A

Inventor(s):

**YAMASHITA FUMITOSHI  
YAMAGATA YOSHIKAZU  
FUJIMOTO HIROMICHI  
HASHIMOTO SUNAO**

Applicant/Assignee:

**1 Inquire Regarding  
Licensing**

**MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

[News, Profiles, Stocks and More about this company](#)

Issued/Filed Dates:

**July 30, 1999 / Jan. 13, 1998**

Application Number:

**JP1998000017996**

IPC Class:

**H02K 15/03; H02K 1/27;**

Priority Number(s):

Jan. 13, 1998 **JP1998199817996**

Abstract:

**Problem to be solved:** To enhance the reliability and efficiency of a motor, by filling the rotor core magnet slots with molten strands of resin magnets containing rare-earth magnet powder by injection in magnetic field, and cooling and solidifying the rare-earth powder as is magnetized.

**Solution:** A metal mold is constituted of non-magnetic members 51 and magnetic members 52, and exciting coils 4 are radially placed in the slots b3 in the rotary shaft of a rotor core. The exciting coils 4 are fixed by means of non-magnetic insulating members 53. When the exciting coils 4 are energized, magnetic flux produced in the exciting coils 4 passes through electromagnetic steel plates b1 comprising the rotor core b0 to produce magnetic fields in magnet slots b2. The magnet slots b2 are filled with polyamide-12 molten strands of rare-earth magnets by injection in magnetic field. Thereafter, the polyamide-12 in the polyamide-12 plastic pellets is cooled and solidified in the magnet slots b2, and already magnetized magnet powder of boron-neodymium-iron based is turned into rare-earth magnets which remain embedded in the magnet slots.

**COPYRIGHT: (C)1999,JPO**

Family:

[Show known family members](#)

Other Abstract Info:

**DERABS G1999-486133 DERABS G1999-486133**

Foreign References:

No patents reference this one



[View  
Image](#)

**1 page**



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-206075

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>  
H 0 2 K 15/03  
// H 0 2 K 1/27識別記号  
5 0 1P I  
H 0 2 K 15/03  
1/27C  
5 0 1 K

審査請求 未請求 請求項の数13 FD (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-17996

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月13日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 山下 文敏

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 山縣 芳和

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 藤本 弘道

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 池本 智之 (外1名)

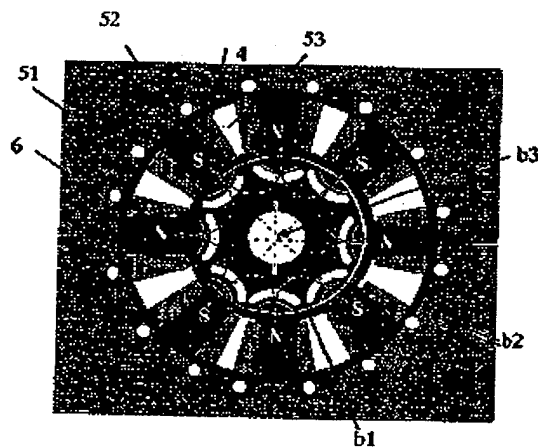
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 正確に温度制御した熱間でホウ素-ネオジウム-鉄系磁石粉体を高度に磁化し、この磁化したホウ素-ネオジウム-鉄系磁石粉体を熱可塑性樹脂の冷却固化により、粉体間に空隙なく強固に固定する。同時に冷却固化過程での収縮力を磁石と回転子鉄心との間に作用させ、両者を機械的に強固に一体化する。すなわち、接着レスで、錆やダスト対策のための表面被覆処理工程、着磁工程などを不要とする高信頼性、高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法を提供する。

【解決手段】 ホウ素-ネオジウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の熔融ストランドを、積層電磁鋼板の回転子鉄心磁石スロット内に均質に磁場中射出充填または磁場中押出充填し、然る後、冷却固化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを回転子鉄心磁石スロット内へ磁場中射出充填し、当該希土類磁石粉体が磁化した状態で冷却固化する希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項2】希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを回転子鉄心磁石スロット内へ磁場中押出充填し、当該希土類磁石粉体が磁化した状態で冷却固化する希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項3】回転子鉄心磁石スロット内に希土類磁石粉体を含む溶融ストランドの磁場中充填が完了した後、充填時と同一方向の瞬間強磁界を印加して磁石スロット内の希土類磁石粉体の磁化を強める請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項4】希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを回転子鉄心磁石スロット内へ磁場中射出または押出充填する際に、溶融ストランドの吐出温度が当該希土類磁石粉体のキュリー温度以上で、当該キュリー温度以下に冷却固化される段階で磁石スロット内の希土類磁石粉体を磁化する希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項5】希土類磁石粉体が、ホウ素-ネオジウム-鉄系急冷磁石粉体である請求項1、2または3記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項6】希土類磁石粉体が、ホウ素-ネオジウム-鉄系異方性磁石粉体である請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項7】ホウ素-ネオジウム-鉄系異方性磁石粉体が水素分解/再結晶したホウ素-ネオジウム-鉄系異方性磁石粉体である請求項6記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項8】溶融ストランド中の希土類磁石粉体キャリアがポリアミド12、PPS（ポリフェニレンサルファイド）から選ばれる熱可塑性樹脂である請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項9】カーボンファンクショナルシラン処理した希土類磁石粉体である請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項10】回転子鉄心磁石スロット内の希土類樹脂磁石の電気抵抗が $\geq 10^{-1} \Omega \text{cm}$ である請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項11】回転子鉄心を積層電磁鋼板とし、磁石スロット内に磁場充填、冷却固化した希土類樹脂磁石の収縮力で機械的に一体化する請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

\*

$$T = \psi \cdot I_q + (L_q - L_d) I_q \times I_d = \psi \cdot I \cos \beta \pm (I / |I|)$$

$$0.5 (L_q - L_d) I^2 \times \sin^2 \beta \dots \dots \dots (1)$$

但し、(1)式中、 $\psi \cdot I \cos \beta$ は磁石トルク、 $(I / |I|) 0.5 (L_q - L_d) I^2 \times \sin^2 \beta$ はリラクタンストルク、 $\psi$ は鎖交磁束、 $I$ は合成電流、 $\beta$ は

\*【請求項12】回転子鉄心のスラスト（軸）方向端部に係合部を設け、磁石スロット内に磁場充填、冷却固化した希土類樹脂磁石の収縮力で回転子全体の剛性を高める請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

【請求項13】回転子鉄心磁石スロットの構成が、突極比 $\rho > 1$ の逆突極性構造である請求項1または2記載の希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、同期モータや交流サーボモータなどの高効率化のための希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、省資源、省エネルギーの観点から高信頼性、並びに高効率モータとして、積層電磁鋼板のような回転子鉄心の複数磁石スロットに磁石を埋設し、磁石トルクに加えてリラクタンストルクを利用する所謂磁石埋設型回転子を搭載したモータが注目されている。

【0003】図1、図2は、回転子鉄心に磁石を埋設した構成の、所謂磁石埋設型回転子の断面図である。ここで、図1はUSP4,139,790号公報に開示された突極比 $\rho > 1$ の逆突極性の磁石埋設型回転子、図2はUSP3,979,821号公報に開示された突極比 $\rho < 1$ の突極性の磁石埋設型磁石回転子である。

【0004】但し、図中、1、1bはスロットに埋設した磁石、2、2bは積層電磁鋼板などの回転子鉄心、3、3bは回転軸スロット、4、4bは磁気バリアスロット、5はアルミニウム2次導体スロットである。また、ここで言う突極比 $\rho$ とは、q軸方向（d軸に対し電気角で90度回転した方向）のインダクタンス $L_q$ と、d軸方向（磁極の中心とロータの中心とを結ぶ方向）のインダクタンス $L_d$ との比 $L_q / L_d$ である。 $L_q$ と $L_d$ に差があることは、永久磁石による磁石トルクとともにリラクタンストルクも発生することを意味する。ここで、磁石トルクは、鎖交磁束 $\psi$ に電氣的に直角方向の電流 $I_q$ を掛け合わせることで発生する。

【0005】また、リラクタンストルクはインダクタンスと電流によって発生する磁束 $L_d \cdot I_d$ 、 $L_q \cdot I_q$ に各々電氣的に直角な電流 $I_q$ 、 $I_d$ を掛け合わせることで発生する。すなわち、磁石トルクとリラクタンストルクの和であるモータの発生トルクは下記(1)式で示される。

【0006】

電流位相、 $(I / |I|)$ は符号、 $L_d$ はd軸インダクタンス、 $L_q$ はq軸インダクタンス、 $I_q$ はq軸電流、 $I_d$ はd軸電流である。

【0007】磁石トルク $\phi \cdot l \cos \beta$ は電流と磁石によって発生するトルク、リラクタンストルク $(I / |I|) \cdot 0.5 (Lq - Ld) I^2 t \times s \cdot n^2 \beta$ は電機子電流によって生成される磁束と電機子電流との相互作用によって得られるトルクである。そして、図1に示す突極比 $p > 1$ の逆突極性では $Ld < Lq$ であり、磁石トルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する。このリラクタンストルクを利用する方が小型、高効率モータとして有利である。

【0008】上記、図2の逆突極性の磁石埋設型回転子の製造方法として、例えば特開昭63-98108号公報には回転子鉄心としての積層電磁鋼板に設けたスキュー構造の複数磁石スロットに方形棒状磁石を空隙なく挿入する方法や、2%のエポキシ結合剤を含むUSP4, 496, 396号公報に開示されたような、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体を粉末形態で積層電磁鋼板の磁石スロット内に充填して強圧縮し、さらに300℃でエポキシを重合硬化する、所謂、スロット内圧縮成形磁石による方法が開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図1に示す突極比 $p > 1$ の逆突極性 $(Ld < Lq)$ で、磁石トルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する構造の磁石埋設型回転子において、固定子側の逆磁界が入り込むq軸方向の磁束は磁石に作用し易く、磁石の減磁耐力に課題があった。

【0010】さらに、例えば、難着磁性として知られるホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石の様な方形棒状磁石を回転子鉄心に設けた磁石スロットに挿入する場合、予め着磁した磁石を挿入するのが一般的である。その際、磁石の一部が機械的に欠損し、破片やダストが発生すると、当該モータの固定子との空隙部分や軸受部分などモータの摺動部に飛散して重大な事故を引き起こす危険性がある。

【0011】一方、回転子鉄心としての積層電磁鋼板に設けた複数磁石スロット内に2%のエポキシ結合剤を含むホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体を粉末形態で充填し、強圧縮し、さらにエポキシ結合剤を重合硬化する。所謂、スロット内圧縮成形磁石で製造する方法は、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体を強圧縮する際に積層電磁鋼板が変形したり、積層電磁鋼板との間に生じる摩擦による圧力損失により、圧縮圧力がスロット奥深くまで伝達せず、低い圧粉体密度と低い残留磁化 $J_r$ の磁石しか得られない。

【0012】さらに、このような状況では僅か2%のエポキシ結合剤でホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体を完全に結合することはできず、当該磁石の機械的強度が低いため磁石埋設型回転子全体の機械的強度に対する信頼性に悪影響を及ぼす。そればかりか、磁石スロットの奥深くに存在するホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷

磁石粉体の防錆処理やダスト対策を施して錆やダストに対する信頼性を確保することも困難であった。また、何れの場合も従来からよく用いられているフェライト系磁石に比べて著しく難着磁性であるから、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体の持つ本来の磁力を十分に活用することもできない。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを回転子鉄心磁石スロット内磁場中射出充填し、当該希土類粉体が磁化した状態で冷却固化するので高信頼性、高効率のモータを提供することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明は、上記欠点に鑑みてなされたもので、図1に示すような逆突極性 $(Ld < Lq)$ で、マグネットトルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する構造の磁石埋設型回転子において、積層電磁鋼板のような回転子鉄心に設けた磁石スロット内に希土類樹脂磁石の溶融ストランドを射出または押出で磁場中埋設する磁石埋設型回転子を提供する。

【0015】つまり、希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを回転子鉄心磁石スロット内へ磁場中射出または押出で充填し、当該希土類磁石粉体が磁化した状態で冷却固化する希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法である。そして、必要に応じて磁石スロット内への充填完了後に、充填時と同一方向の瞬間強磁界を印加したり、或いはまた、樹脂磁石の溶融ストランドの吐出温度を当該希土類磁石粉体のキュリー点の温度差以上として難着磁性の希土類磁石粉体の磁化を強めることもできる。

【0016】なお、上記希土類磁石粉体はホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体、すなわち溶湯合金を急冷凝固したホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体、熱間鍛込み(Die-Up-Setting)または水素分解/再結晶したホウ素-ネオジミウム-鉄系異方性磁石粉体などが、必要に応じて適宜カーボンファンクショナルシラン処理して使用される。

【0017】また、一方の溶融ストランド中の希土類磁石粉体の充填キャリアはポリアミド12、液晶ポリマー、PPS(ポリフェニレンサルファイド)の群から選ばれる熱可塑性樹脂が使用され、磁石スロット内への充填時には、これらの熱可塑性樹脂が希土類磁石粉体のキャリアとなり、磁石スロット内で冷却固化することで特定方向に磁化した希土類磁石粉体を強固に固定化した希土類樹脂磁石を構成する。

【0018】なお、高信頼性で、しかも高効率のモータを提供するために1)熱可塑性樹脂で希土類磁石粉体を電気的に絶縁し、磁石の電気抵抗を $\geq 10^{-1} \Omega \text{cm}$ とし、一方の回転子鉄心を積層電磁鋼板とする。すると、磁石埋設型回転子の回転による渦電流損失低減に効果的であ

10

20

30

40

50

る。2) 回転子鉄心の磁石スロットの構成を、突極比 $\rho > 1$ の逆突極性構造としてマグネットトルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する構造の磁石埋設型回転子とする。3) 必要に応じて回転子鉄心のスラスト

(軸) 方向端部に係合部を設けた積層電磁銅板の回転子鉄心とし、当該磁石スロット内に磁場充填、冷却固化した希土類樹脂磁石の収縮力で磁石と回転子鉄心を機械的に一体化する。すると、磁石埋設型回転子全体の剛性が高まり高速回転での信頼性確保に効果的である。

【0019】以上のように、本発明にかかる希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法は、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の希土類元素、遷移金属元素の資源バランスが有利である。また、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の熔融ストランドを、積層電磁銅板の回転子鉄心磁石スロット内に均質に磁場中射出充填または磁場中押出充填し、その後、冷却固化する。すなわち正確に温度制御した熱間でホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を高度に磁化し、この磁化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を熱可塑性樹脂の冷却固化により、粉体間に空隙なく強固に固定するので錆とダストに強い。或いは冷却固化過程での収縮力が磁石と回転子鉄心との間に作用して機械的に強固に一体化する。したがって、接着レスで、錆やダスト対策のための表面被覆処理工程、若磁工程などを不要とする高信頼性、高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子を製造することができる。

【0020】以下、本発明をさらに詳しく説明する。本発明で言う希土類磁石粉体とは、1-5 SmCo、2-17 SmCoなど希土類コバルト磁石粉体や、2-17-3 SmFeNなどの希土類-鉄窒化物磁石粉体も対象となるが希土類元素、遷移金属元素などの合金組成からみた資源バランス、当該磁石粉体固有の磁気ポテンシャル、磁石埋設型回転子製造との適合性などの観点から実質的にはホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体が好ましい。

【0021】ここで言う、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体とは、例えばJ.F.Herbest, "Rare Earth-Iron-Boron Materials; A New Era in Permanent Magnets" Ann. Rev. Sci., Vol-16, (1986) に記載されているようにNd:Fe:Bを2:14:1に近い割合で含む溶湯合金を急冷凝固し、適宜熱処理により結晶粒径20~100nmのNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B相を結晶化させたもので一般的に残留磁化J<sub>r</sub>=8kG、固有保磁力H<sub>cj</sub>≥8kOeで磁気的には等方性である。

【0022】さらにホウ素-ネオジミウム-鉄系合金をベースに、その溶湯合金を急冷凝固した合金組成REx-Fe<sub>2</sub>y-Bz-S<sub>1</sub>u-T<sub>v</sub>で示されるFe<sub>3</sub>B基ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体も、本発明で言うホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体に含まれる。ただし、REはNd、Prなどの希土類元素、Tは

Cr、Vなどを表す。そして特表平6-505366号公報に開示されるように、ハード磁性相とソフト磁性相の各スピンの交換結合により構成される磁石粉体であり、例えば、合金組成Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B<sub>1</sub>では残留磁化J<sub>r</sub>=1.2kG、固有保磁力H<sub>cj</sub>≥3kOeで、しかもH<sub>cj</sub>の80%以上まで減磁界を加えてもJ<sub>r</sub>の70%以上の値までJ<sub>r</sub>がリコイルする強い交換スプリング磁石特性を示す。

【0023】一方、ホウ素-ネオジミウム-鉄系異方性磁石粉体とは、例えばM.Doser, V.Panchanathan; "Pulverizing anisotropic rapidly solidified Nd-Fe-B materials for bonded magnet"; J. Appl. Phys. 70(10), 15(1991)にあるように、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体をホットプレスしたフルデンス磁石を熱間圧込み加工(Die-Up-Setting)で磁気異方化したのち、このバルク磁石を水素吸蔵粉砕した磁石粉体、或いはR.Nakayama, T.Takeshita et al; Magnetic properties and microstructures of Nd-Fe-B magnet powder produced by hydrogen treatment., J. Appl. Phys. 70(7)(1991)に記載されているような水素分解/再結晶磁石粉体である。例えば、合金組成Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B<sub>1</sub>では残留磁化J<sub>r</sub>≥11.5kG、固有保磁力H<sub>cj</sub>≥15kOeで磁気的に強い一軸異方性を持っている。

【0024】なお、上記、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体類を適度に混合しても減磁曲線に段が生じることなく、それぞれのJ<sub>r</sub>値、H<sub>cj</sub>値の中間の任意の値を選択することができる。したがって、希土類樹脂磁石埋設型回転子の設計思想や実使用条件に応じて高J<sub>r</sub>型から高H<sub>cj</sub>型とすることができる。

【0025】ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を熱可塑性樹脂、例えばポリアミド-12粉体と混合し、当該混合粉体をエクストルーダーで混練し、そのダイスヘッドに吐出した樹脂磁石の熔融ストランドをホットカッターで切断したベレットを用いて積層電磁銅板などの回転子鉄心の磁石スロット内へ磁場中射出充填するか、或いは直接、熔融ストランドを回転子鉄心の磁石スロット内へ磁場中押出充填する。そして当該希土類磁石粉体が磁化した状態で冷却固化して磁石埋設型回転子を製造する。

【0026】ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の固有保磁力H<sub>cj</sub>の温度係数βは単磁区臨界寸法以上ではNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B結晶粒子径にもよるが-0.4~-0.6%/°C、キュリー温度T<sub>c</sub>は310~465°C程度である。

【0027】本発明は、上記希土類磁石粉体を含む樹脂磁石の熔融ストランドを回転子鉄心の磁石スロット内へ磁場中射出または押出して充填し、当該希土類磁石粉体が磁化した状態で冷却固化する希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法であり、必要に応じて磁石スロットへの

充填完了後に、充填時と同一方向の瞬間強磁界を印加したり、或いはまた、熔融ストランドの吐出温度を当該希土類磁石粉体のキュリー温度以上として希土類磁石粉体の磁化を強めることもできる。

【0028】この方法は、ポリアミド-12のような熔融可塑性樹脂がキャリアになってホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を積層電磁銅板の回転子鉄心磁石スロット内に空隙なく充填することができる。そして熱可塑性樹脂の冷却固化の収縮力の作用により、磁石粉体を磁石スロット内で強固に固定化すると同時に、当該磁石と積層電磁銅板とを機械的に一体化することができる。

【0029】したがって、希土類磁石粉体を強圧縮することで積層電磁銅板を変形させることなく、また磁石スロット内奥深くまで均質に破損なしに磁化した磁石を埋設することができる。さらに、磁石スロット内に埋設した磁石は希土類磁石粉体が、ほぼ完全に冷却固化した熱可塑性樹脂で覆われているため破損やダストが発生する危惧もなく、耐錆性確保のための特別な表面被覆も不要である。

【0030】上記、磁石を埋設する回転子鉄心の磁石スロット形状は、本発明にかかる希土類樹脂磁石埋設型回転子を、どのような駆動方式のモータとするかで異なるが、突極比 $p > 1$ の逆突極性( $L_d < L_q$ )として、磁石トルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する構成とすることは小型、高効率モータを提供するうえで重要である。

【0031】次に、本発明で言う回転子鉄心は打抜き加工などで所定形状の複数磁石スロットを設けた積層電磁銅板が好適である。この理由は樹脂磁石の熔融ストランドを磁石スロット内に磁場中充填した後の、冷却固化過程で磁石と回転子鉄心を機械的に一体化することができることと、渦電流損失低減のためである。また、図1、図2のように磁石を埋設する磁石スロット以外に回転軸スロット、磁気抵抗バリアスロット、アルミニウム2次導体スロットなどを設けた構造であっても差し支えない。

【0032】次に、当該回転子鉄心の複数磁石スロット内にホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の熔融ストランドを磁場中射出充填または押出充填により、空隙なく均質に埋設するための好適な熱可塑性樹脂としてはポリアミド-12、PPS(ポリフェニレンサルファイド)を挙げることができる。

【0033】次に、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の表面処理に使用するカーボンファンクショナルシランとは下記(3)式で示される。

【0034】 $YRS_1X_2 \cdots \cdots (3)$

但し、上式中Yは加水分解基、Xは有機官能基、Rは脂肪族残基であり、 $\gamma$ -グリシドキシプロピトリエトキシシラン、 $\gamma$ -アミノプロピトリエトキシシラン、N- $\beta$ -(アミノエチル)- $\gamma$ -アミノプロピトリエト

キシシランなどが好ましく用いられる。この様なカーボンファンクショナルシランでホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の表面処理を行う理由は、当該粉体の酸化を抑制し、磁場中射出充填或いは磁場中押出充填時の熱安定性を確保しつつ、冷却固化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の固定を、より強固にするためである。実際の表面処理では加水分解基の分解を促進させるべく水を併用し、低級アルコール類を溶媒としてホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体表面に単分子膜以上のカーボンファンクショナルシランを成膜することが好ましい。

【0035】以上のように、本発明にかかる希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法は、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の希土類元素、遷移金属元素の資源バランスが有利である。また、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の熔融ストランドを、積層電磁銅板のような回転子鉄心磁石スロット内に均質に磁場中射出充填または磁場中押出充填し、然る後、冷却固化する。すなわち正確に温度制御した熱間度高 $H_c$ 型のホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体であっても高度に磁化することができる。また、磁化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を熱可塑性樹脂の冷却固化により、粉体間に空隙なく強固に固定するので錆とダストに強い。或いは冷却固化過程での収縮力が磁石と回転子鉄心との間に作用して機械的に磁石と回転子鉄心とが強固に一体化する。したがって、接着レスで、錆やダスト対策のための表面被覆処理工程、着磁工程などを不要とする高信頼性、高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子を製造することができる。

【0036】以下、本発明をさらに詳しく説明する。但し、本発明は実施例に限定されるものではない。

【0037】〔ベレットの製造〕合金組成 $Nd_{11.5}Fe_{88.5}Co_5B_5$ 、および合金組成 $Nd_{11.5}Fe_{88.5}B_{1.5}$ を急冷凝固し、非晶質部分を結晶化した。この、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体 $A_1$ 、 $A_2$ の50kOeパルス着磁後のVSMによる残留磁化 $J_r$ は各々8.

2. 7. 9 kG、固有保磁力 $H_c$ は各々9. 4. 16. 8 kOeであった。

【0038】一方、合金組成 $Nd_{11.5}Dy_{88.5}Fe_{88.5}Co_{11.5}B_{1.5}Ga_{0.5}Zr_{0.5}$ を水素分解/再結晶したホウ素-ネオジミウム-鉄系異方性磁石粉体Bの $J_r$ は11. 8 kG、固有保磁力 $H_c$ は15. 2 kOeであった。

【0039】上記ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体 $A_1$ 、 $A_2$ およびBを窒素雰囲気中で $105 \mu m$ に粗粉砕したところ、 $A_1$ 、 $A_2$ は何れも比表面積は0. 05~0. 07 g/m<sup>2</sup>、Bは0. 08~0. 09 g/m<sup>2</sup>であった。この比表面積に基づき単分子膜を形成する量の $\gamma$ -アミノプロピトリエトキシシラン( $C_3H_7N-C_3H_6-Si[OCH_3]_3$ 、比重 $d_{25}^{20} 0. 94$ 、分子量221. 3、単分子膜被覆面積332 m<sup>2</sup>/g)を使用し

た。すなわち、磁石粉体100gに対し、 $\gamma$ -アミノプロピトリメトキシシラン0.0022gの $-OCH_3$ 基を加水分解し、 $-SiOH$ 基とするために必要なイオン交換水0.005gをエタノール0.243gで希釈し、混合した後、130℃に加熱した。すると赤外分光分析(IR)で $-OCH_3$ 基の吸収スペクトル( $\nu_{cm} 2845\text{ cm}^{-1}$ )が消滅し、 $-SiOH$ 基( $\nu_{cm} 3350\text{ cm}^{-1}$ )を確認した。すなわち、本発明で言うカーボンファンクショナルシラン処理したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を得た。

【0040】次いで、上記ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A、またはBと、ポリアミド-12粉体、ステアリン酸カルシウム粉体、ヒドラジン系酸化防止剤を、各々91:7.9:0.05:0.05(重量比)に計量し、ヘンシェルミキサーを用いて均質になるまで混合した。また、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体Aと、PPS粉体、ステアリン酸カルシウム粉体、ヒドラジン系酸化防止剤を、各々95:4.9:0.05:0.05(重量比)に計量し、ヘンシェルミキサーを用いて均質になるまで混合した。

【0041】次いで、スクリー径20mmの単軸エクストルuderを用い、ポリアミド-12では280℃、PPSでは340℃で溶融混練し、ダイスヘッドから吐出したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドをホットカットしてベレットを得た。

【0042】〔希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造1〕図3のような突極比 $\rho > 1$ の逆突極性( $Ld < Lq$ )で、マグネットトルクと同一方向のリラクタンストルクが発生する構造に8極のアーチ状磁石スロットb2と回転軸スロットb3を設けた板厚0.5mm、外径80mmの打抜き電磁鋼板b1を用意した。そして、この電磁鋼板b1を50mmに積層して回転子鉄心b0とした。但し、この磁石スロットは幅3.5および1.8mmの円弧状で1極当たりが2層構造になっている。

【0043】図4は、本発明にかかる磁場中射出充填装置の要部構成図である。但し、図中1は射出スクリー、2は加熱シリンダー、3は射出ノズル、4は1極当たり50turnの励磁コイル、5は非磁性部材と磁性部材とを組合わせた金型で励磁コイル4を内蔵し、回転子鉄心b0を充填できるキャビティを備えている。6は金型5に設けた冷却管、7は金型5の型締めと開放を行う油圧シリンダーである。さらに、直流電源81とパルス電源82は切替えスイッチを介して励磁コイル4と電気的に接続されている。

【0044】図5は、図4のA-A'断面構成図である。金型5は非磁性部材51と磁性部材52とで構成され、励磁コイル4を回転子鉄心の回転軸スロットb3に対して放射状に配置されている。そして励磁コイル4は非磁性絶縁部材53により固定している。また、冷却管6は励磁コイル4の外側に近接配置している。

【0045】そして、直流電源81またはパルス電源82から励磁コイル4に通電すると、励磁コイル4の発生磁束は、回転子鉄心b0を構成する電磁鋼板b1を通過して磁石スロットb2に磁場をつくる。

【0046】上記回転子鉄心b0を図4の磁場中射出充填装置の金型5のキャビティに充填し、油圧シリンダー7で金型5を型締めした。そしてカーボンファンクショナルシラン処理したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A、またはBを含むポリアミド-12ベレットa1を射出スクリー1の回転と280℃に加熱したシリンダー2からの熱伝導で可塑化したポリアミド-12ベレットa2とし、これを射出スクリー1の後退により射出ノズル3へ移送した。

【0047】次に、直流電源81から直流電流(max 100A)を励磁コイル4に通電し、回転子鉄心の磁石スロットb2に10kOeの連続磁場を発生させた。そして、回転停止した射出スクリー1を射出ノズル3方向へ前進させ、射出ノズル3から希土類磁石のポリアミド-12溶融ストランドを吐出した。吐出したポリアミド-12溶融ストランドは金型5に設けたスプルー、ランナー、ゲートを経て直接回転子鉄心の磁石スロットb2に磁場中射出充填した。

【0048】磁石スロットb2への磁場中射出充填の完了は射出スクリー1の位置または圧力センサーで検知できる。ポリアミド-12可塑化ベレットa2は磁石スロットb2中でポリアミド-12が冷却固化し、既に磁化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体は、そのまま磁石スロットに埋設された希土類磁石a0となる。この際に磁場中射出充填したこの段階で、直流電源81から励磁コイル4への連続通電からパルス電源82のパルス通電(波高値Ip 15kA)に切替える。すると、パルス通電により励磁コイル4には、磁化方向と同一の $\geq 20\text{ kOe}$ の瞬間強磁界が加わりホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の磁化は、さらに高まる。

【0049】図5はホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体Aを含む希土類樹脂磁石を磁石スロットに埋設した磁石埋設型回転子と積層電磁鋼板からなる回転子鉄心との境界部分のマクロ組織をSEM(走査型電子顕微鏡)観察した断面図である。

【0050】図から明らかなように希土類樹脂磁石は積層電磁鋼板を強圧縮により変形させることなく、当該磁石スロット奥深くまで均質に磁場中充填され、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体はポリアミド-12により空隙なく強固に固定されている。またポリアミド-12の冷却固化に伴う収縮力は積層電磁鋼板b2からなる回転子鉄心と希土類磁石とを機械的に強固に一体化している。したがって、磁気回路として高いパーミアンス係数を確保することができる。さらに、磁石スロット内に埋設した希土類樹脂磁石は磁石粉体が、ほぼ完全に冷却固化したポリアミド-12で覆われているため破損やダス



トが発生する危惧もなく、耐錆性確保のための特別な表面被覆も不要である。

【0051】次に、上記回転子鉄心の磁石スロットに埋設した磁化したままの希土類樹脂磁石を径5mm高さ2mmに切出して振動型試料磁力計：VSM（測定磁界±15kOe）で室温の磁気特性とアルキメデス法による密度を（表1）に示す。なお、表中 $H_{c1}$ 欄の（％）は、磁化\*

	$J_r/kG$	$H_{ce}/kOe$	$H_{c1}/kOe$	$[BH]_{max}/MJGoe$	密度 $g/cm^3$
磁石粉体 A <sub>1</sub>	5.5	4.3	8.9(94.6%)	6.8	5.1
磁石粉体 B	8.4	7.3	14.2(93.4%)	16.1	5.2

ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体は磁石埋設型回転子の加工段階で、やや磁気特性が低下するが、磁場中射出充填と、充填後の熱間パルス電流による同一方向瞬間強磁界による磁化で、もとの磁石粉体の $H_{c1}$ の95％程度、すなわち、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体本来の磁力を十分に引き出すことができる。なお、上記回転子鉄心磁石スロット内の希土類樹脂磁石の電気抵抗を四探針法で測定したところ $4 \sim 7 \times 10^{-1} \Omega cm$ であった。

【0053】〔希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造2〕図6は、本発明にかかる磁場中押出充填装置の要部構成図である。

【0054】但し、図中1は押出スクリー、2は加熱シリンダー、3は押出ノズル、4は1極当たり50turnの励磁コイル、5は非磁性部材と磁性部材とを組合わせた金型で励磁コイル4を内蔵し、回転子鉄心10を装填できるキャビティを備えている。6は金型5に設けた冷却管、7は金型5の型締めと開放を行う油圧シリンダーである。さらに、直流電源81とパルス電源82は切替えスイッチを介して励磁コイル4と電氣的に接続されている。

【0055】図5は、図6のA-A'断面構成図である。金型5は非磁性部材51と磁性部材52とで構成され、励磁コイル4を回転子鉄心の回転軸スロット13に対して放射状に配置されている。そして励磁コイル4は非磁性絶縁部材53により固定している。また、冷却管6は励磁コイル4の外側に近接配置している。

【0056】そして、直流電源81またはパルス電源82から励磁コイル4に通電すると、励磁コイル4の発生磁束は、回転子鉄心10を構成する電磁鋼板11を通過して磁石スロット12に磁場をつくる。

【0057】上記回転子鉄心10を図4の磁場中押出充填装置の金型5のキャビティに装填し、油圧シリンダー7で金型5を型締めした。そしてカーボンファンクショナルシラン処理したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>を含むPPSベレットa1を押出スクリー1の回転と340℃に加熱したシリンダー2からの熱伝導で可塑化したベレットa2とし、押出スクリー1の後退

\*冷却固化した磁石スロット内の希土類樹脂磁石の磁化率を示す。すなわち、磁場中射出充填と、充填後の熱間パルス電流による同一方向瞬間強磁界による磁石粉体への磁化率を、もとのホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の固有保磁力 $H_{c1}$ で除した、所謂、着磁率である。

【0052】

【表1】

によりPPS可塑化ベレットa2を押出ノズル3へ移送した。なお、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>2</sub>はコバルトフリーで、走査型熱量計（DSC）によれば、そのキュリー温度 $T_c$ は $310^\circ C \pm 10 deg$ である。

【0058】次に、直流電源81から直流電流（max 100A）を励磁コイル4に通電し、回転子鉄心の磁石スロット12に10kOeの連続磁場を発生させた。そして、回転停止した押出スクリー1を押出ノズル3方向へ前進させて押出ノズル3から希土類磁石のPPS熔融ストランドを吐出した。ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>のキュリー温度以上に加熱したPPS熔融ストランドは回転子鉄心の磁石スロット12に直接磁場中押出充填される。なお、充填時に電磁鋼板11に接するPPS熔融ストランドは磁石スロット内部よりも急速に冷却固化するもののキュリー温度以下に達するまでに磁化することができる。

【0059】磁石スロット12への磁場中押出充填の完了は押出スクリー1の位置または圧力センサーで検知できる。PPS可塑化ベレットa2は磁石スロット12内で回転子鉄心の接触面から固化冷却が進み、PPSで固定化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>のキュリー温度以下になる。すると、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体は磁石スロット内で磁化されながら回転子鉄心の磁石スロットに埋設された希土類磁石a0となる。この際にホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>のキュリー温度以下に達した段階で直流電源81から励磁コイル4への連続通電からパルス電源82のパルス通電（波高値1p15kA）に切替える。すると、パルス通電により励磁コイル4には、磁化方向と同一の $\geq 20kOe$ の瞬間強磁界が加わりホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の磁化は、さらに高まる。

【0060】次に、上記回転子鉄心の磁石スロットに埋設した磁化したままの希土類樹脂磁石を径5mm高さ2mmに切出して振動型試料磁力計：VSM（測定磁界±15kOe）で室温の磁気特性とアルキメデス法による密度を（表2）に示す。なお、表中 $H_{c1}$ 欄の（％）は、磁化冷却固化した磁石スロット内の希土類樹脂磁石の磁化率



を示す。すなわち、磁場中押出充填と、充填後の熱間パルス電流による同一方向瞬間強磁界による磁石粉体への磁化率を、もとのホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体\*

\*の固有保磁力 $H_{c2}$ で除した値、所謂、着磁率である。

【0061】

【表2】

	Jr/kG	$H_{c2}/kOe$	$H_{c1}/kOe$	$[BH]_{max}/kGOe$	密度 g/cm <sup>3</sup>
磁石粉体 A <sub>1</sub>	6.1	5.7	16.5(98.2%)	7.8	5.7

ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体は磁石埋設型回転子の加工段階で、やや磁気特性が低下する。しかし、高 $H_{c2}$ 型ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体であっても、当該磁石粉体のキュリー温度以下で、連続磁場または/および熱間パルス電流による瞬間強磁界で、もとの磁石粉体の $H_{c2}$ の実に98.2%の磁化を与えることができる。なお、上記回転子鉄心磁石スロット内の希土類樹脂磁石の電気抵抗を四探針法で測定したところ $2 \sim 5 \times 10^{-3} \Omega cm$ であった。

【0062】【比較例1】4-4'ジフェニルメタンジイソシアネートの-NCO基をメチルエチルケトンオキシムで封止したブロックイソシアネートと分子中にアルコール性水酸基を有するジグリシジルエーテルビスフェノールA型固体エポキシとを化学当量比(NCO/OH=1)としたアセトン溶液と、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>とを湿式混合した。その後、アセトンを揮発させ2重量%の固体エポキシバインダーを含有するホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>とした。

【0063】図3の積層電磁鋼板の回転子鉄心磁石スロットにホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体A<sub>1</sub>を粉末形態で充填し、6 ton/cm<sup>2</sup>の圧力で強圧縮した。ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体A<sub>1</sub>を強圧縮すると積層電磁鋼板が変形し、積層電磁鋼板との間に生じる摩擦による圧力損失により、圧縮圧力がスロット奥深くまで伝達せず、回転子鉄心端面から20mm以上深いところではグリーン体とすることもできなかった。すなわち、この方法は回転子鉄心とホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体A<sub>1</sub>とを確かに空隙なく満たすけれども、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体A<sub>1</sub>自体を空隙なく磁石スロットに充填することはできない。

【0064】また、当該磁石の機械的強度が低いため磁石埋設型回転子全体の機械的強度に対する信頼性に悪影響を及ぼす。それはかりか、回転子鉄心の磁石スロットの奥深くに存在するホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体の防錆処理やダスト対策を施して錆やダストに対する信頼性を確保することも困難であった。また、何れの場合も従来からよく用いられているフェライト系磁石に比べて著しく難着磁性であるから、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体の持つ本来の磁力を十分に活用することもできない。なお、上記回転子鉄心端面付近の磁石スロット内の希土類樹脂磁石の電気抵抗を四探針法で測定したところ $10^{-3} \Omega cm$ であった。したがって、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体の持つ本来の磁

力を十分に活用して高信頼性、並びに高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子を製造することができない。

【0065】【比較例2】希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造と磁場なし以外は同一条件で作成したものを、室温で瞬間強磁界(波高値1 p 15 kA)で着磁したが、磁石の固有保磁力 $H_{c2}$ は12.5 kOeしか得られず、着磁率では74%程度でしかなかった。したがって、ホウ素-ネオジミウム-鉄系急冷磁石粉体の持つ本来の磁力を十分に活用して高信頼性、並びに高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子を製造することができない。

【0066】

【発明の効果】以上のように、本願請求項1~11、13記載の発明にかかる希土類樹脂磁石埋設型回転子の製造方法は、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体の希土類元素、遷移金属元素の資源バランスが有利である。また、ホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を含む樹脂磁石の溶融ストランドを、積層電磁鋼板のような回転子鉄心磁石スロット内に均質に磁場中射出充填または磁場中押出充填し、然る後、冷却固化する。すなわち正確に温度制御した熱間で高 $H_{c2}$ 型のホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体であっても高度に磁化することができる。また、磁化したホウ素-ネオジミウム-鉄系磁石粉体を熱可塑性樹脂の冷却固化により、粉体間に空隙なく強固に固定するので錆とダストに強い。或いは冷却固化過程での収縮力が磁石と回転子鉄心との間に作用して機械的に磁石と回転子鉄心とが強固に一体化する。したがって、接着レスで、錆やダスト対策のための表面被覆処理工程、着磁工程などを不要とする高信頼性、高効率モータのための希土類樹脂磁石埋設型回転子を製造することができる。

【0067】請求項12記載の発明は、磁石埋設型回転子全体の剛性が高まり高速回転での信頼性が高まる。

【図面の簡単な説明】

【図1】永久磁石を埋設した構成の磁石回転子の断面図

【図2】永久磁石を埋設した構成の磁石回転子の断面図

【図3】突極比 $p > 1$ の磁石スロットと回転軸スロットを設けた打抜き電磁鋼板を示す図

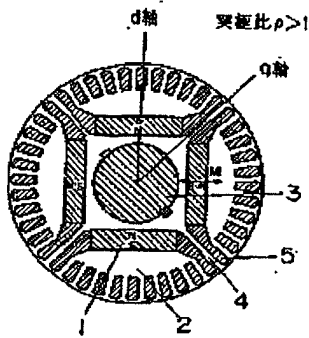
【図4】磁場中射出充填装置の要部構成図

【図5】磁場中射出/押出充填装置の要部断面図

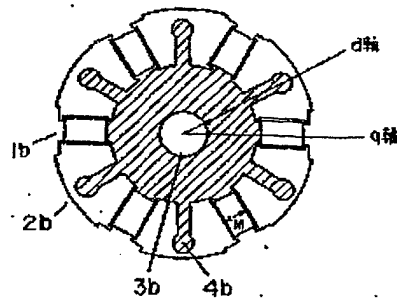
【図6】磁石と積層電磁鋼板との境界部分の断面図

【図7】磁場中押出充填装置の要部構成図

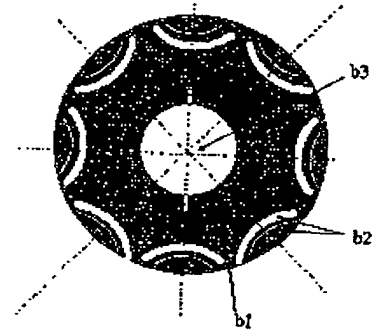
【図1】



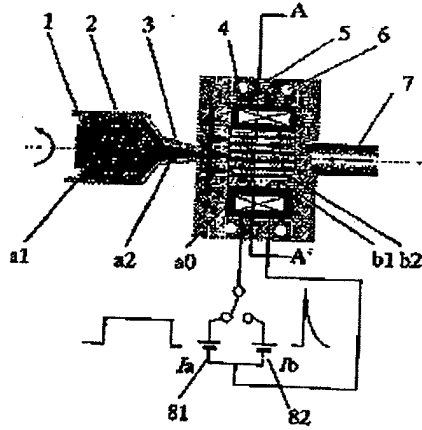
【図2】



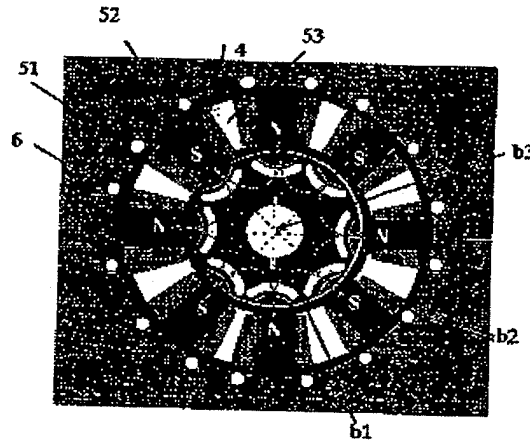
【図3】



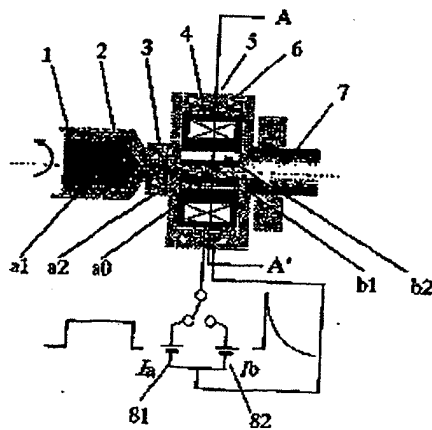
【図4】



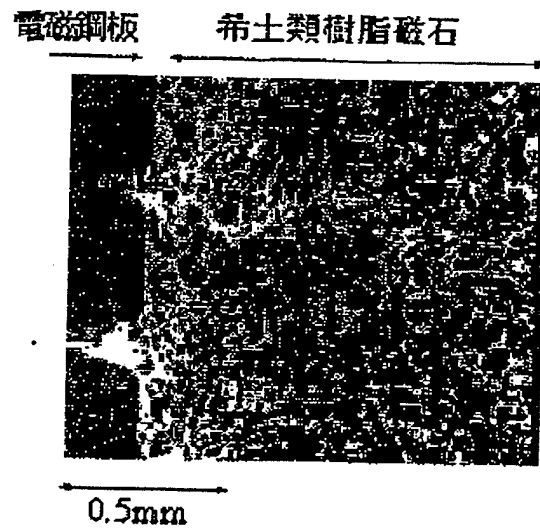
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 橋本 直  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内